عمرو بكر أبو العمبز
7/12/2008
بالتوفيق

Cement and concrete technology 1

ECIV 3341

Chapter (10): Mix Design

Follow the following steps to obtain a proper concrete mix design :-

Step 1) collect some required data (معطى في السؤال) :-

* Sieve analysis of aggregate.
* Unit weight of coarse aggregate.
* Bulk specific gravity and absorption and Moisture content of aggregates.
* Exposure conditions (طبيعة الحالة المحيطة بالمنشأة الخرسانية .)

step 2) Choose suitable slump value

⇒ Table 10.1 P.227 (Text book).

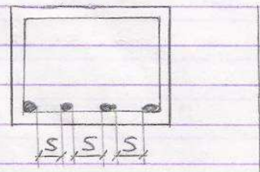
واختيار القيمة حسب نوع العنصر الإنشائي الذي سنستخدم فيه هذه الخرسانة والجدول يعطي مجال لقيمة الهبوط بين (min) و (max).

Step 3) Find maximum aggregate size

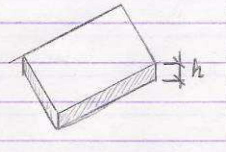
⇒ maximum aggregate size ≤ the minimum of :-

- $\frac{3}{4}$ clear spacing between steel bars
- $\frac{1}{3}$ slab thickness (إذا كانت الخرسانة مستخدمة في الأسقف)
- $\frac{1}{5}$ the minimum dimension between forms → طوبار

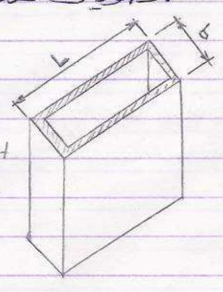
(عندما نستخدم الخرسانة لصب الأعمدة فلا يزيد التدرج الحبيبي الأقصى للحصويات عن (1/5) للبعد الأصغر في العمود).



S: clear space between bars



h: slab thickness



b: smallest dimension between forms

ملاحظة/ قد يعطينا في السؤال (Max. agg. size) ويعطينا معلومات عن سماكة السقف أو التباعد بين أسياخ حديد التسليح وبالتالي يمكن حساب (Max. agg. size) ولكن في الحل نستخدم القيمة الأقل بين (Max. agg. size) المعطاة وقيمة (Max. agg. size) التي حسبناها.

* * *

Step 4) Estimation of mixing water and air content

⇐ حساب وزن الماء اللازم لعمل ($1\,yd^3$) أو ($1\,m^3$)

$1\ yd = 3\ ft.$
$= 91.44\ cm.$

⇐ وكذلك تحديد نسبة الفراغات الهوائية اللازم تواجدها في الخلطة الخرسانية

- اذهب إلى (Table 10.2) ⇐ P. 229
- الجدول منقسم إلى جزأين حسب نوع الخرسانة:

Air entrained concrete – Nonair entrained concrete.

بشكل عام (Air entrained concrete) هو نوع من الخرسانة نضع معها إضافات تعمل على توليد فقاعات هوائية، بحيث في المناطق الثلجية بعد أن تتصلب الخرسانة ويخرج منها الماء الزائد عن حاجة التفاعل وبالتالي إذا تسربت مياه إلى الخرسانة ستحل محل الماء الخارج وتتجمد هذا الماء مما يؤدي لتولد إجهادات داخلية تؤدي لفشل الخرسانة
ولكن بإضافة تلك المواد التي تولد فقاعات هوائية تعمل على امتصاص الإجهادات الداخلية الناتجة عن تجمد الماء المتسرب.

⇐ في معطيات السؤال سيوضح نوع الخرسانة.
⇐ إذا لم يوضح في السؤال نوع الخرسانة وأشار إلى وجود ظروف جوية ثلجية نفهم مباشرة أننا نستخدم (Air entrained concrete).

- نحدد قيمة الهبوط (slump)
- نحدد قيمة (Max. agg. size)
- من الجدول نحدد قيمة (Wwater) مع ملاحظة الوحدات المستخدمة.

وكذلك نختار (% Air)

⇐ نلاحظ في القسم الثاني من الجدول عند (Air entrained) وعند تحديد (% Air) نجد ثلاث خيارات (Mild exposure – Moderate – sever) وهي تصف مدى تعرض المنشأ لحالات سيئة وبالتالي إذا أشار في السؤال إلى أن المنشأ يتعرض لظروف سيئة (مثلاً عمود خارجي Exterior col.) نختار sever أما لو كان عنصر داخلي نختار Mild.

(خفيف – متوسط – شديد)

Step 5) Find water to cement ratio (w/c):-

(w/c) is minimum of:-

① (w/c) due to strength:-

⇒ Go to table 10.3 P.230

حسب قيمة (f_c) ونوع الخرسانة نحدد (w/c).

② (w/c) due to durability:-

⇒ Go to table 10.4 P.231.

حسب توصيف المنشأ المُعطى في السؤال نحدد (w/c)

الأقل من القيمتين نعتمدها.

Step 6) Find the cement content per unit volume:-

$$\text{Cement content} = \frac{W_{water}}{(w/c)}$$

ملاحظة: أحيانا نستخدم أنواع من الإضافات (Miniral Admixture) فتحل محل جزء من الاسمنت، وهذه الإضافات إمّا تشغل نسبة من وزن الاسمنت أو نسبة من الحجم.

⇒ If change by (x%) by weight:-

- Weight of miniral admixture = $\frac{x}{100} * (\text{cement content})_{original}$
- Weight of cement = $(\text{cement content})_{original} * \left(\frac{100 - x}{100}\right)$

$$\rightarrow (\text{cement content})_{original} = \frac{W_{water}}{(w/c)}$$

محتوى الاسمنت في الوضع العادي بدون إضافات.

⇒ If change by (x%) by volume:-

- Weight of admixture = $\frac{x}{100} (G_p / G_c)(\text{Cement Cont.})_{original}$
- Weight of cement = $\left(\frac{100-x}{100}\right) * (\text{cement content})_{original}$.

G_p: specific gravity for admixture.

G_c: Specific gravity for cement = 3.15.

Step 7) Estimation of coarse aggregate content :- [4]

⇒ Go to table 10.8 P. 233

⇒ Choose max. agg. size

⇒ Choos Fineness Modulus of sand (FM)

- Do interpolation if required

⇒ From table find volume of coarse aggregate per unit volume of mix.

⇐ من الجدول حصلنا على ($V_{coarse\ agg}$) وهي جافة (OD)

⇐ نحسب وزن الحصويات جافة ⇐ $(W_{coarse\ agg.})_{OD}$:-

$$(W_{coarse\ agg.})_{OD} = (V_{coarse\ agg}) * \gamma_{coarse\ agg}$$

↳ Unit weight dry

معطى في السؤال.

⇐ نحسب وزن الحصويات وهي مشبعة الفجوات $(W_{SSD})_{coarse}$:-

$$(W_{SSD})_{coarse} = (W_{coarse})_{OD} * \left[1 + \frac{\% A}{100}\right]$$

هذه العلاقة تصلح مع الأوزان ولا تصلح مع الحجوم.

Step 8) Estimation of fine aggregate content:- [5]

Method 1) Weight method:-

$$W_{\text{fine agg.}} = W_{\text{fresh concrete}} - W_{\text{other ingredient}}$$

$W_{\text{fine agg}}$:- وزن الرمل.

$W_{\text{fresh conc.}}$: وزن الخرسانة بكامل مكوناتها الطبيعية (اسمنت-رمل-ماء-ركام خشن).

$W_{\text{other ingredient}}$: وزن مكونات الخرسانة غير الرمل أي (اسمنت - ماء - ركام خشن).

بالنسبة لوزن الاسمنت و الماء والركام الخشن قد قمنا بحسابه ، يتبقى لنا كيفية تقدير وزن الخرسانة الكلي وهذا يتم بأحد الطريقتين :-

A- Table 10.9 P. 234

⇒ Choos Type of concrete & max. agg. size then find $W_{\text{fresh Conc.}}$

B- Equations to Estimate $W_{\text{fresh concrete}}$:-

$$U_m = 10\,G_a\,(100 - \bar{A}) + C_m\left(1 - \frac{G_a}{G_c}\right) - W_m\,(G_a - 1) \qquad kg/m^3.$$

U_m: Weight of fresh concrete. kg/m^3.

G_a: Average $(BSG)_{SSD}$ of fine & coarse aggregate ⇒ $G_a = \frac{\overbrace{(BSG)_{fine} + (BSG)_{coarse}}^{SSD}}{2}$

$\bar{A}$: % Air.

C_m: Cement content. kg/m^3.

G_c: specific gravity of cement = 3.15

W_m: Water content kg/m^3

انظر الكتاب P. 234 معادلة (10-7) لوحدات (Ib/Yd^3).

Method 2) Volume Method:-

$$\left(W_{\substack{fine\\agg.}}\right)_{SSD} = \left(V_{\substack{fine\\agg.}}\right) * (BSG)_{\substack{SSD\\fine}} * 1000$$

1000 ↳ ρ_w (kg/m³)

$$V_{fine} = 1 - \left[V_{cement} + V_{water} + V_{air} + V_{\substack{coarse\\agg.}}\right].$$

$$\Rightarrow V_{cement} = \frac{C_m}{G_c \times 1000}$$

C_m: Cement content kg/m³.
$G_c = 3.15 \Leftarrow$ specific gravity

$$\Rightarrow V_{water} = \frac{W_{water}}{1000}.$$

$$\Rightarrow V_{coarse} = \frac{(W_{coarse})_{SSD}}{(BSG)_{SSD} \times 1000}.$$

$$\Rightarrow V_{air} = \frac{\% Air}{100}$$

يجب التنبه لنوع (BSG) المعطاة هل هي SSD أم OD.

Step 9) Mixing adjustments:-

كما تعلمنا سابقاً، وجود خواص امتصاص أو تشبع للحصويات والرمل يتطلب منا تعديل كل من:

$\Rightarrow W_{coarse}$
$\Rightarrow W_{fine}$.
$\Rightarrow W_{water}$.

- $(W_{coarse})_{adj} = (W_{coarse}) * \left[1 + \frac{\% SM}{100}\right].$
- $(W_{fine})_{adj} = (W_{fine}) * \left[1 + \frac{\% SM}{100}\right].$
- $\Delta water = \left[W_{coarse} \times \frac{\% SM}{100}\right] + \left[W_{fine} \times \frac{\% SM}{100}\right]$
- $(W_{water})_{adj} = W_{water} - \Delta water.$

% SM:
Surface Moisture
وهي نفسها
Moisture content
إذا كانت +

ملاحظة:

① قد يعطينا في السؤال خصائص الركام (Aggregate) كما يلي:

(TM) Total moisture و Absorption (A)

عندها لعمل Adjustment نحسب Moisture content من العلاقة:

$$Mc = TM - A \Rightarrow \oplus \text{ (SM) or } \ominus \text{ (EA)}$$

ثم نجري التعديلات حسب النتيجة.

② نفترض أن أحد أنواع الركام أو كليهما (Coarse & fine) كان ممتص للماء بمعنى أن Moisture content (-ve) أو أعطانا له Effective absorption (EA) ، عند إجراء التعديلات تكون كما يلي:

$\Rightarrow$ let coarse agg. has EA , fine agg. has SM

$$[W_{coarse}]_{adj} = W_{coarse}\left(1 - \frac{\%EA}{100}\right).$$

$$[W_{Fine}]_{adj} = W_{fine}\left(1 + \frac{\%SM}{100}\right).$$

$$\Delta Water = \left[W_{coarse} * \frac{-\%EA}{100}\right] + \left[W_{fine} * \frac{\%SM}{100}\right].$$

$$[W_{water}]_{adj} = W_{water} - \Delta_{water}.$$

10.4) • Air entrained concrete

• Maximum aggregate size = 25 mm.

• Interior beam.

• $f_c' = 35$ MPa.

• $G_c = 3.15$

Coarse Aggregate	Fine Aggregate
$(BSG)_{SSD} = 2.9$	$(BSG)_{SSD} = 2.62$
%A = 0.5%	%A = 1.2%
%EA = 0.3%	%SM = 2.8%
$\gamma_{dry} = 1700$ kg/m^3	FM = 2.8

Solution

Step 1) collect data ⇒ Given.

Step 2) Slump values:

From table 10.1 P.227 ⇒

for beam; slump = 25 → 100 mm

Step 3) Max. Agg. size = 25 mm

Step 4) find Wwater :-

Table 10.2 P.229

for slump value (80 – 100) with air entrained concrete; at Max. agg. size 25mm ⇒ $W_{water} = 175$ kg/m^3.

⇒ Mild exposure (for interior beam) ⇒ % Air = 3 %.

Step 5) find w/c :-

⇒ due to strength ⇒ Table 10.3 ⇒ w/c = 0.39

⇒ due to durability ⇒ Table 10.4 ⇒ w/c = 0.5

w/c = 0.39 ⇐ Minimum

(9)

Step 6) find cement content:-

$$C_m = \frac{W_{water}}{w/c} = \frac{175}{0.39} = 448.7 \ kg/m^3.$$

Step 7) find coarse aggregate weight:-

from table 10.8 ⇒ at FM = 2.8 with max. agg. size = 25 mm;

$$V_{coarse} = 0.67.$$

$$(W_{coarse})_{dry} = \gamma V = 1700 * 0.67 = 1139 \ kg/m^3.$$

$$(W_{coarse})_{SSD} = (W_{coarse})_{dry} * \left[1 + \frac{\% A}{100}\right]$$

$$\Rightarrow (W_{coarse})_{SSD} = 1139\left(1 + \frac{0.5}{100}\right) = 1144.7 \ kg/m^3.$$

Step 8) find fine aggregate weight:-

8-1) Weight Method:-

8-1-1) Approximate total weight method:-

from table 10.9 ⇒ $W_{fresh\ conc.} = 2285 \ kg/m^3$.

$$(W_{fine})_{SSD} = W_{fresh\ conc.} - \left[W_{water} + W_{cement} + W_{coarse}\right]$$

$$\Rightarrow (W_{fine})_{SSD} = 2285 - (175 + 448.7 + 1144.7) = 516.6 \ kg/m^3.$$

8-1-2) Exact total weight method:-

from following equation; find $W_{fresh\ conc.}$:-

$$U_m = 10\, G_a\,(100 - \bar{A}) + C_m\left(1 - \frac{G_a}{G_c}\right) - W_m\,(G_a - 1).$$

$$G_a = \frac{2.9 + 2.62}{2} = 2.76.$$

$$U_m = 10\,(2.76)(100 - 3) + 448.7\left(1 - \frac{2.76}{3.15}\right) - 175\,(2.76 - 1)$$

$$U_m = 2424.75 \ kg/m^3 = W_{fresh\ conc.}$$

(10)

$$\Rightarrow (W_{fine})_{SSD} = 2424.75 - (175 + 448.7 + 1144.7) = 656.35 \ kg/m^3.$$

8-2) Volume methods:-

$$V_{cement} = \frac{448.7}{3.15 \times 1000} = 0.1424 \ m^3/m^3.$$

$$V_{water} = \frac{175}{1000} = 0.175 \ m^3/m^3.$$

$$V_{coarse_{SSD}} = \frac{1144.7}{2.9 \times 1000} = 0.3947 \ m^3/m^3.$$

$$V_{air} = \frac{3}{100} = 0.03 \ m^3/m^3.$$

$$V_{fine} = 1 - (0.1424 + 0.175 + 0.3947 + 0.03) = 0.258 \ m^3/m^3.$$

$$W_{fine} = 0.258 \times 2.62 \times 1000 = \underline{675.63} \ kg/m^3.$$

Step 9) Calculate Adjustmented weights:-

$$(W_{coarse})_{Adj} = (W_{coarse})_{SSD} \left[1 - \frac{\%EA}{100}\right] = 1144.7\left(1 - \frac{0.3}{100}\right) = 1141.3 \ kg/m^3.$$

$$(W_{fine})_{Adj} = (W_{fine})_{SSD} \left[1 + \frac{\%SM}{100}\right] = 675.63\left(1 + \frac{2.8}{100}\right) = 694.54 \ kg/m^3.$$

$$\Delta water = \left(W_{coarse} * \frac{-\%EA}{100}\right) + \left(W_{fine} * \frac{\%SM}{100}\right)$$

$$\Delta_{water} = \left(1144.7 * \frac{-0.3}{100}\right) + \left(694.54 * \frac{2.8}{100}\right) = 16 \ kg/m^3.$$

$$(W_{water})_{Adj} = W_{water} - \Delta_{water} = 175 - 16 = 159 \ kg/m^3.$$

$W_{water} = 159 \ kg/m^3$.	$W_{coarse} = 1141.3 \ kg/m^3$.
$W_{cement} = 448.7 \ kg/m^3$	$W_{fine} = 694.54 \ kg/m^3$.
% Air = 3 %.	

(11)

10.6) From Problem 10.4;

⇒ 15% replacement of cement by <u>weight</u> by fly ash with specific gravity = 2.2.

Solution

from Problem 10.4)

Step 1 → Step 5 ⇒ No change

$W_{water} = 175\ kg/m^3.$

$C_m = 448.7\ kg/m^3.$

⇒ Weight of fly ash $= \frac{15}{100}(448.7) = 67.3\ kg/m^3.$

⇒ Weight of cement $= \frac{85}{100}(448.7) = 381.4\ kg/m^3.$

Step (7): $W_{coarse} = 1144.7\ kg/m^3.$

Step (8):-

$W_{fine} = V_{fine} \times (BSG)_{SSD} * 1000.$

$V_{cement} = \frac{381.4}{3.15 \times 1000} = 0.121\ m^3/m^3$

$V_{fly\ ash} = \frac{67.3}{2.2 \times 1000} = 0.03\ m^3/m^3$

$V_{Air} = 0.03\ m^3/m^3.$

$V_{water} = 0.175\ m^3/m^3.$

$V_{coarse} = \frac{1144.7}{2.9 \times 1000} = 0.3947$

⇒ $V_{fine} = 1 - 0.121 - 0.03 - 0.03 - 0.175 - 0.3947 = 0.249\ m^3/m^3.$

$(W_{fine})_{SSD} = 0.249 \times 2.62 \times 1000 = 653\ kg/m^3.$

Step (9): Adjustments:-

$(W_{coarse})_{adj} = 1144.7\left(1 - \frac{0.3}{100}\right) = 1141.3\ kg/m^3.$

$(W_{fine})_{adj} = 653\left(1 + \frac{2.8}{100}\right) = 671\ kg/m^3.$

$(W_{water})_{adj} = 175 + 1144.7(0.3/100) - 653(2.8/100) = 160\ kg/m^3.$

10.8)

⇒ Column exposed to freezing and thawing with contact with soil.

⇒ $f_c' = 4500$ Ib/in^2.

⇒ $G_c = 3.15$

⇒ Maximum Aggregate size = 3/4 in.

Coarse Aggregates	Fine Aggregates
$(BSG)_{OD} = 2.65$	$(BSG)_{OD} = 2.75$
%A = 1.5%	%A = 1%
TM (Total Moisture) = 1%	TM = 3%
$\gamma = 105$ Ib/ft^3	FM = 2.7

Solution

Step 1) Collect data ⇒ Given.

Step 2) Slump Value :-

From table 10.1 :-

for column ⇒ Slump = 1 → 4 in.

Step 3) Maximum Aggregate size = 3/4 in.

Step 4) Find Wwater :-

Table 10.2 ⇒

⇒ As column exposed to freezing we have to use Air entrained concrete.

⇒ For slump value (3 − 4) in and maximum Agg. size = 3/4 in,

$W_{water} = 305$ Ib/yd^3 $= \frac{305}{27} = 11.296$ Ib/ft^3.

% Air = 6% ⇒ sever condition.

Step 5) find w/c :-

⇒ due to f_c' ⇒ w/c = 0.48 @ $f_c' = 4000$ Ib/in^2.

w/c = 0.4 @ $f_c' = 5000$ Ib/in^2.

by interpolation ⇒ @ $f_c' = 4500$ Ib/in^2 ⇒ w/c = 0.44.

⇒ due to durability ⇒ w/c = 0.45.

Use w/c = 0.44.

step 6) find Cement Content :-

$$C_m = \frac{11.296}{0.44} = 25.67 \ Ib/ft^3 = 693.18 \ Ib/yd^3.$$

step 7) find W_{coarse} :-

from table (a.8).

$$At \ FM = 2.6 \Rightarrow V_{coarse} = 0.64 \ yd^3/yd^3.$$

$$At \ FM = 2.8 \Rightarrow V_{coarse} = 0.62 \ yd^3/yd^3.$$

$$\Rightarrow At \ FM = 2.7 \Rightarrow V_{coarse} = 0.63 \ yd^3/yd^3$$

$$= 0.63 \times 27 = 17.01 \ ft^3/yd^3.$$

$$(W_{coarse})_{Dry} = 17.01 \times 105 = 1786.05 \ Ib/yd^3.$$

$$(W_{coarse})_{SSD} = 1786.05 \left(1 + \frac{1.5}{100}\right) = 1812.84 \ Ib/yd^3.$$

step 8) find W_{fine} :-

$$V_{cement} = \frac{693.18}{3.15 \times \underset{\text{for water}}{62.4}} = 3.52 \ ft^3/yd^3.$$

$$V_{water} = \frac{305}{62.4} = 4.88 \ ft^3/yd^3.$$

$$V_{coarse} = \frac{1786.05}{2.65 \times 62.4} = 10.8 \ ft^3/yd^3.$$

لاحظ أن السؤال أعطانا $(BSG)_{OD}$ وبالتالي عند حساب
الحجم استخدمنا الوزن الجاف للركام

$$V_{air} = \frac{6}{100} \times 27 = 1.62 \ ft^3/yd^3.$$

$$V_{fine} = 1 - \left(\frac{3.52}{27}\right) - \left(\frac{4.88}{27}\right) - \left(\frac{10.8}{27}\right) - \left(\frac{1.62}{27}\right) = 0.228 \ yd^3/yd^3$$

$$= 6.18 \ ft^3/yd^3.$$

$$(W_{fine})_{Dry} = 6.18 \times 2.75 \times 62.4 = 1060.488 \ Ib/yd^3.$$

$$(W_{fine})_{SSD} = 1060.488\left(1 + \frac{1}{100}\right) = 1071.09 \ Ib/yd^3.$$

(14)

Step 9) Calculate adjusted weights:-

$(TM)_{coarse} = 1\%, \quad \%A = 1.5\%.$

$M.C = TM - \%A = 1 - 1.5 = -0.5\%$

$\Rightarrow (\%EA)_{coarse} = 0.5\%.$

$(TM)_{fine} = 3\%, \quad \%A = 1\%.$

$M.C = 3 - 1 = 2\%$

$\Rightarrow (SM)_{fine} = 2\%.$

$(W_{coarse})_{adj} = 1812.84\left(1 - \frac{0.5}{100}\right) = 1803.77 \ Ib/yd^3.$

$(W_{fine})_{adj} = 1071.09\left(1 + \frac{2}{100}\right) = 1092.5 \ Ib/yd^3.$

$\Delta water = 1812.84\left(\frac{-0.5}{100}\right) + 1071.09\left(\frac{2}{100}\right) = 12.35 \ Ib/yd^3.$

$(W_{water})_{adj} = 305 - 12.35 = 292.64 \ Ib/yd^3.$

عمرو بكر أبو العمير

07/12/2008 يوم عرفة

الثانية بعد الظهر